



PCT/FR 03 / 02878

REC'D 05 DEC 2003

WIPO

PCT

# BREVET D'INVENTION

**CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION**

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 02 OCT. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété Industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

**DOCUMENT DE PRIORITÉ**

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

BEST AVAILABLE COPY

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

**BREVET D'INVENTION**  
**CERTIFICAT D'UTILITÉ**  
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2**



Remplir impérativement la 2ème page.

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 190600

1 OCT 2002  
Réserve à l'INPI

REMISE DES PIÈCES  
DATE

55 INPI RENNES

LIEU

0212158

N° D'ENREGISTREMENT

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

PAR L'INPI

01 OCT. 2002

☒ **NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE  
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE**

Cabinet Patrice VIDON  
Le Nobel (Bât. A)  
2, allée Antoine Becquere  
BP 90333  
35703 RENNES CEDEX 7

**Vos références pour ce dossier**

(facultatif) R8200FR

**Confirmation d'un dépôt par télécopie**

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

☒ **NATURE DE LA DEMANDE**

**Cochez l'une des 4 cases suivantes**

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

*Demande de brevet initiale*

N°

Date / /

*ou demande de certificat d'utilité initiale*

N°

Date / /

Transformation d'une demande de  
brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date / /

☒ **TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)**

Procédé de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, procédé de décodage, dispositif de réception, système de codage-décodage et applications correspondantes

☒ **DÉCLARATION DE PRIORITÉ**

**OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE**

**LA DATE DE DÉPÔT D'UNE**

**DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE**

Pays ou organisation

Date / /

N°

Pays ou organisation

Date / /

N°

Pays ou organisation

Date / /

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

☒ **DEMANDEUR**

☐ S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

Nom ou dénomination sociale

TELEDIFFUSION DE FRANCE

Prénoms

Forme juridique

Société Anonyme

N° SIREN

| 3 . 4 . 2 . 4 . 0 . 4 . 3 . 9 . 9 |

Code APE-NAF

| . . . . |

Adresse

Rue

10, rue d'Oradour-sur-Glanc

Code postal et ville

75015

PARIS CEDEX 15

Pays

Nationalité

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)



# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

1 OCT 2002  
Réserve à l'INPI

REMISE DES PIÈCES DATE: 35 INPI RENNES LIEU: 0212158 N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		DB 540 W / 190600	
Vos références pour ce dossier : (facultatif)		R8200FR	
<input checked="" type="checkbox"/> MANDATAIRE			
Nom		VIDON	
Prénom		Patrice	
Cabinet ou Société		Cabinet Patrice VIDON	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	Le Nobel 2, allée Antoine Becquerel BP 90333	
	Code postal et ville	35703	RENNES CEDEX 7
N° de téléphone (facultatif)		02 99 38 23 00	
N° de télécopie (facultatif)		02 99 36 02 00	
Adresse électronique (facultatif)		vidon@vidon.com	
<input checked="" type="checkbox"/> INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<input checked="" type="checkbox"/> RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en deux versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
<input checked="" type="checkbox"/> RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<input checked="" type="checkbox"/> SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) P. VIDON Mandataire (CPI 92-1250) P. GUENE (CPI n° 96-0503)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE RENNES	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

**Procédé de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, procédé de décodage, dispositif de réception, système de codage-décodage et applications correspondantes.**

Le domaine de l'invention est celui du traitement du signal et des communications numériques.

Plus précisément, l'invention concerne une technique d'optimisation du décodage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, ou MLC (pour l'anglais "Multi-Level Coding").

On connaît à ce jour plusieurs techniques de codage de canal à modulations codées. En effet, à la suite de la découverte par Ungerboeck des modulations codées en treillis, encore appelées MCT ("Channel Coding with Multilevel/phase Signals", en français "Codage de canal avec des signaux multiniveaux/phases", IEEE Trans. IT, Janvier 1982, 28, n°1, pp. 55-67), les modulations codées en bloc, ou MCB, et les modulations multidimensionnelles codées en treillis ont été proposées.

Les modulations de type MCB ont notamment été décrites par Cusack dans "Error control codes for QAM signalling" (en français "Codes de contrôle d'erreurs pour une signalisation MAQ"), Electronics Letter, janvier 1984, 20, pp. 62-63 et par Sayegh dans "A class of optimum block codes in signal space" (en français "une classe de codes en bloc optimum dans l'espace signal"), IEEE Trans. COM, octobre 1986, 34, n°10, pp. 1043-1045.

Les modulations multidimensionnelles codées en treillis ont notamment été décrites par Wei dans "Treillis-coded Modulation with Multidimensional Constellations" (en français "Modulation codée en treillis avec constellations multidimensionnelles"), IEEE Trans. IT, juillet 1987, 33, n°4, pp. 483-501 et par Calderbank et Sloane dans "New treillis codes based on lattices and cosets" (en français "Nouveaux codes en treillis basés sur les treillis et les groupes conjugués"), IEEE Trans. IT, Mars 1987, 33, n°2, pp. 177-195.

Des modulations codées en treillis de complexité modérée (typiquement à 4 ou 8 états) peuvent donner un gain de codage de 3 à 4 dB. Cependant, dans les

applications de faisceaux hertziens à grande capacité, l'implantation du décodeur de Viterbi nécessaire pour décoder ces modulations reste très coûteuse.

Une nouvelle famille de codes MCB a donc été proposée pour ces applications particulières. L'implantation de tels codes est simple, mais leur gain de codage est généralement limité à 2dB.

Une technique de codage attrayante pour ces applications de faisceaux hertziens à grande capacité a été proposée par Imai et Hirakawa dans "A new multilevel coding method using error-correction codes" (en français "une nouvelle méthode de codage multi-niveaux, utilisant des codes correcteurs d'erreurs"), IEEE Trans. IT, mai 1977, 23, n°3, pp. 371-377. Cette technique est celle du codage multi-niveaux, dont l'intérêt réside dans l'existence d'un procédé simple de décodage, s'effectuant par étapes, et présentant un bon compromis entre performances et complexité d'implantation.

On rappelle ci-après brièvement le principe du codage multi-niveaux, ainsi que le procédé de décodage par étapes associé.

On considère une constellation  $A_0$  à  $2^m$  points, qui est donc capable d'assurer la transmission de  $m$  bits par symbole.

Si  $m$  désigne le nombre de bits à coder, la constellation  $A_0$  est partitionnée en  $m$  niveaux, donnant ainsi  $2^m$  sous-ensembles. Le principe de cette partition est identique à celui défini par Ungerboeck, et sert à maximiser la distance euclidienne minimale dans les sous-ensembles de la partition. Si on désigne par  $d_i$  la distance euclidienne minimale dans les sous-ensembles obtenus au  $i^{\text{ème}}$  niveau de partition, on doit vérifier l'inégalité suivante :

$$(1) \quad d_0 < d_1 < d_2 < \dots < d_m$$

où  $d_0$  est la distance minimale dans la constellation  $A_0$ .

Ainsi, les  $m$  bits  $b_1, b_2, \dots, b_m$ , où  $b_i$  est le bit affecté au  $i^{\text{ème}}$  niveau de la partition, sélectionnent un sous-ensemble parmi les  $2^m$ . La figure 1 donne le schéma de cette partition dans le cas où  $m = 2$ .  $A_0$  est partitionnée tout d'abord en deux sous-ensembles  $B_i, i \in \{0, 1\}$  et où  $i = b_1$ , de distance minimale  $d_1$ , puis en quatre sous-ensembles  $C_i, i \in \{0, 1, 2, 3\}$  et où  $i = b_1 + 2b_2$ , de distance minimale

$d_2$ . Dans le cas où  $A_0$  est une constellation carrée de distance euclidienne  $d_0$ ,  $d_1 = \sqrt{2}d_0$  et  $d_2 = \sqrt{2}d_1 = 2d_0$ .

Ce procédé d'affectation des points de la constellation  $A_0$  a pour but de classer les  $m$  bits que représente le symbole émis, en fonction de leur vulnérabilité vis-à-vis du bruit. On peut en effet constater que le bit  $b_2$  est moins vulnérable que le bit  $b_1$ , puisqu'il lui correspond une distance euclidienne minimale de  $d_2 > d_1$ . D'après la relation (1), on peut montrer que si les bits  $b_k$ ,  $k \leq i-1$  sont suffisamment protégés pour qu'ils soient reçus correctement, le bit  $b_i$ ,  $i \leq m$  est mieux protégé vis-à-vis du bruit que tous les autres bits  $b_j$ ,  $j < i$ . On a donc envisagé de coder ces bits séparément avec des codes différents.

C'est le principe du codage multi-niveaux qui consiste, après avoir partitionné la constellation  $A_0$  en  $m$  niveaux, à utiliser  $m$  codeurs  $E_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , pour protéger ces  $m$  bits avec plusieurs niveaux de protection.

En d'autres termes, le principe du codage multi-niveaux repose sur l'optimisation conjointe du codage et de la modulation, permettant d'atteindre les meilleures performances de transmission. Ainsi, dans le cadre d'une modulation QAM ("Quadrature Amplitude Modulation" pour "modulation d'amplitude en quadrature"), on accorde une plus grande protection aux bits qui, du fait de leur position dans le mappage QAM, sont plus susceptibles d'être entachés d'erreur. La protection accordée aux différents bits est fonction du codage utilisé.

Le schéma de ce concept de codage est illustré par la figure 2. Le train de données à transmettre, de débit  $D$ , est divisé par le bloc de conversion série-parallèle 21 en  $m$  trains de débit  $D_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ . Les  $m$  premiers trains sont codés par  $m$  codes binaires  $E_i(n_i, k_i, d_i)$ ,  $i = 1, \dots, m$ , référencés 22, de taux de codage  $R_i = k_i/n_i$  et de distance de Hamming minimale  $d_i$ . A l'entrée du modulateur 23, les  $m$  trains binaires doivent être synchrones, de débit  $D'/m$ . On peut donc définir un taux de codage équivalent  $R$  donné par :

(2)

$$R = D / D'$$

Si l'on suppose que tous les  $n_i$  sont égaux, soit  $n_i = n$ ,  $i = 1, \dots, m$ , et que les  $m$  codes  $E_i$  sont des codes en bloc, on peut décrire ce codage par une structure

matricielle identique à celle utilisée pour les MCB décrites notamment par Sayegh dans l'article cité précédemment. Un mot de code contient  $n$  symboles et peut être représenté par une matrice à  $m$  lignes et  $n$  colonnes où la  $j^{\text{ème}}$  colonne représente l'affectation binaire du  $j^{\text{ème}}$  symbole du bloc, et la  $i^{\text{ème}}$  ligne représente le  $i^{\text{ème}}$  niveau de partition. La ligne  $i$ ,  $i = 1, \dots, m$  est un mot de code  $E_i(n, k, d_i)$ . La distance euclidienne minimale  $d$  obtenue avec ce codage, est donnée par :

$$(3) \quad d^2 = \min_{i=1, \dots, m+1} (d_i d_{i+1}^2), \quad \text{avec } d_{m+1} = 1.$$

Sachant que les  $d_i$  vérifient la relation (1) ci-dessus, le codage multi-niveaux est optimisé si :

$$(4) \quad d_1 > d_2 > \dots > d_m.$$

On a donc déterminé que le bit  $b_1$  devrait être le bit le plus protégé, puis  $b_2$  etc. Cette description matricielle peut être généralisée au cas où les codes seraient quelconques. Si les  $n_i$  ne sont pas identiques, il suffit de considérer une matrice à  $m$  lignes et  $l$  colonnes où  $l$  est le plus petit commun multiple des  $n_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ .

Dans le cas particulier où l'un des codes est un code convolutif, la matrice à considérer est semi-infinie.

Le procédé de décodage classiquement utilisé en association avec un tel codage multi-niveaux est un décodage par étapes sous-optimal, qui présente l'avantage d'être d'implantation très simple.

Selon cette technique, le procédé de décodage s'effectue par étapes où chaque bit est décodé de façon indépendante par un décodeur simple opérant sur des décisions fermes, mais où la sortie du décodeur ( $i$ ) peut apporter une correction sur les bits à l'entrée du décodeur ( $i+1$ ). La figure 3 donne le schéma bloc de ce type de décodeur, dans le cas où  $m = 2$ . Etant donné  $(r_1, r_2, \dots, r_n)$  le bloc de  $n$  symboles reçus à l'entrée du décodeur, l'opération de décodage se fait selon les étapes successives suivantes :

- on décode tout d'abord les  $n$  bits  $b'_i$ ,  $i=1, \dots, n$  affectés au premier niveau de partition ( $A_0$ ) : une décision ferme 32 dans  $A_0$  est effectuée sur tous les  $r_i$ ,  $i=1, \dots, n$ . On obtient ainsi une première estimation de  $b'_i$ ,  $i=1, \dots, n$ , notée

$\tilde{b}_1^i, i=1, \dots, n$ . Un décodage à décisions fermes 33 opérant sur  $\tilde{b}_1^i, i=1, \dots, n$  fournit une estimation finale notée  $\hat{b}_1^i, i=1, \dots, n$ .

- on décode ensuite les  $n$  bits  $b_2^i, i=1, \dots, n$ , affectés au deuxième niveau de partition ( $B_0$  ou  $B_1$ ) : en fonction des bits  $\hat{b}_1^i, i=1, \dots, n$ , qui sont codés par le même codeur utilisé à l'émission, une deuxième opération de décision 34 est effectuée sur les symboles  $r_p, i=1, \dots, n$  dans les sous-ensembles  $B_{p_i}$  avec  $p_i = \hat{b}_1^i$  pour  $i=1, \dots, n$ . Les bits  $\tilde{b}_2^i, i=1, \dots, n$  obtenus sont décodés par le décodeur "2" référencé 35 pour donner une décision finale  $\hat{b}_2^i, i=1, \dots, n$ .
- on décode enfin les bits non codés restants : à partir des bits  $\hat{b}_1^i, \hat{b}_2^i, i=1, \dots, n$ , recodés par leur codeur associé, on opère une troisième détection 36 de  $r_p, i=1, \dots, n$ , dans les sous-ensembles de deuxième niveau de partition  $C_p, i=1, \dots, n$ . On obtient ainsi une estimation des  $m-2$  bits non codés restants pour chacun des symboles  $r_p, i=1, \dots, n$ .

Selon la technique de décodage associée au codage multi-niveaux MLC, le premier décodage s'effectue donc systématiquement dans le sous-ensemble  $A_0$  de la constellation. Le résultat de ce décodage est ensuite exploité pour le décodage du sous-ensemble suivant  $B_0$ .

Or, pour qu'un tel décodage MLC soit optimal, le gain de codage qu'il est nécessaire d'obtenir entre les différents niveaux de codage est de 6dB, ce qui est très difficile à obtenir.

Un inconvénient de cette technique de l'art antérieur est donc que le procédé de décodage classiquement mis en œuvre dans le cadre du codage MLC présente des performances médiocres.

Notamment, une telle technique de décodage sous-optimal par étapes est peu adaptée aux canaux présentant un bruit additif gaussien et aux canaux à trajets multiples affectés de Doppler.

L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients de l'art antérieur.



Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir une technique de décodage d'un signal modulé selon une technique de codage MLC, présentant des performances accrues par rapport aux techniques de l'art antérieur.

Un autre objectif de l'invention est de mettre en œuvre une telle technique, qui permette de réduire le taux d'erreurs binaires (ou TEB) par rapport à la technique de décodage sous-optimal de l'art antérieur.

L'invention a encore pour objectif de fournir une telle technique qui soit simple et peu coûteuse à mettre en œuvre, et qui soit adaptée aux canaux sujets à perturbations, et notamment aux canaux présentant un bruit additif gaussien et aux canaux à trajets multiples affectés de Doppler.

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte. Un tel signal comprend une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, et un tel procédé de réception comprend au moins une itération de décodage comprenant des étapes successives de décodage de chacun desdits bits reçus, l'une au moins desdites étapes de décodage tenant compte du résultat d'au moins une éventuelle étape de décodage précédente.

Selon l'invention, on decode lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

Ainsi, l'invention repose sur une approche tout à fait nouvelle et inventive du décodage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux. En effet, contrairement au procédé de décodage sous-optimal utilisé dans l'art antérieur, l'invention propose de réaliser un décodage des différents niveaux de partition qui tienne compte de la vulnérabilité de ces derniers vis-à-vis du bruit. Ainsi, on decode en premier le niveau le plus robuste, afin de pouvoir ensuite propager le résultat du décodage de ce niveau aux niveaux moins robustes. On

obtient ainsi des performances de décodage fortement accrues par rapport aux techniques de décodage sous-optimales de l'art antérieur.

Avantageusement, ledit ordre prédéterminé correspond à l'ordre décroissant de la robustesse des niveaux de codage auxquels sont affectés lesdits  
5 bits reçus.

Préférentiellement, chacune desdites étapes successives de décodage tient compte du résultat de la ou lesdites étape(s) de décodage précédente(s), de façon à améliorer le résultat desdites étapes de décodage desdits bits affectés aux niveaux moins robustes.

10 Ainsi, le résultat du décodage des bits d'un niveau de robustesse donné est systématiquement exploité lors du décodage des bits du niveau de robustesse directement inférieur, ce qui permet d'améliorer fortement la confiance que l'on peut accorder à ce deuxième décodage.

Selon une variante avantageuse de l'invention, lesdits bits affectés audit  
15 niveau le plus robuste sont les bits les plus significatifs dudit symbole correspondant.

Cette variante de réalisation correspond notamment au mode de mise en œuvre particulier retenu par le consortium de normalisation DRM (Digital Radio Mondiale, tel que présenté dans le document ETSI ES 201 980 V1.2.1 (2002-07)).

20 De manière préférentielle, au sein d'une desdites itérations de décodage, chacune desdites étapes successives de décodage desdits bits reçus est précédée d'une étape de démodulation correspondante.

Les bits reçus sont donc tout d'abord démodulés, puis décodés.

De manière avantageuse, un tel procédé de réception comprend au moins  
25 deux itérations de décodage successives, une étape de décodage des bits d'un niveau donné tenant compte, lors de la  $n^{\text{ième}}$  itération, où  $n \geq 2$ , du résultat d'au moins certaines desdites étapes de décodage desdits bits reçus affectés aux niveaux de codage moins robustes que ledit niveau donné, et mises en œuvre lors d'au moins une desdites itérations précédentes.

Ainsi, dans un cas particulier comprenant trois niveaux de codage, le décodage des bits du niveau le plus robuste tient compte notamment, lors de la deuxième itération, du résultat du décodage des bits des deux niveaux les moins robustes obtenu lors de la première itération.

5           Préférentiellement, un tel procédé de réception comprend deux itérations de décodage successives.

En effet, les inventeurs ont constaté que l'accroissement des performances résultant de la mise en œuvre d'une troisième itération était faible, ou à tout le moins négligeable par rapport à l'augmentation de la complexité correspondante.

10           Avantageusement, à l'issue d'au moins certaines desdites itérations, un tel procédé de réception met en œuvre une étape d'estimation d'un symbole émis, et une étape de calcul d'une information extrinsèque tenant compte dudit symbole émis estimé, ladite information extrinsèque permettant d'améliorer le résultat desdites étapes de décodage de la ou lesdites itérations suivantes.

15           Ainsi, après la première itération de décodage, on calcule une information extrinsèque qui sera utilisée lors de la deuxième itération de décodage, pour en accroître les performances.

De manière avantageuse, ladite information extrinsèque est de la forme :  $\alpha(S_r - S_e)$ , où  $\alpha \in [0, 1]$ ,  $S_r$  est ledit symbole reçu et  $S_e$  est ledit symbole émis  
20           estimé.

Dans le cas particulier où deux itérations successives sont mises en œuvre, l'information extrinsèque est donc proportionnelle à la différence du symbole reçu et du symbole estimé à partir des bits décodés des différents niveaux lors de la première itération. Cette différence est pondérée par un coefficient caractéristique  
25           de la confiance accordée au décodage.

Dans un premier mode de réalisation avantageux de l'invention,  $\alpha$  est sensiblement égal à 0,25.

Une telle valeur de  $\alpha$  permet d'obtenir des performances satisfaisantes lors de la deuxième itération de décodage, pour la plupart des canaux de transmission  
30           considérés.

Dans un deuxième mode de réalisation avantageux, un tel procédé de réception comprend une étape d'optimisation de la valeur de  $\alpha$  en fonction du rapport signal à bruit.

5 Par l'intermédiaire du coefficient  $\alpha$ , on peut en effet choisir d'accorder une plus ou moins grande confiance, dans l'information extrinsèque, au symbole émis estimé, afin d'en tenir plus ou moins compte lors des itérations de décodage suivantes. L'optimisation de la valeur de  $\alpha$  en fonction du rapport signal à bruit conduit à des valeurs de  $\alpha$  proches de 1 lorsque le rapport signal à bruit est très bon, et à des valeurs proches de 0 dans le cas contraire.

10 Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, un tel procédé de réception comprend en outre une étape de détermination d'un rapport signal à bruit à partir d'au moins une information de référence émise, appelée pilote, dont la valeur est connue a priori en réception.

15 On rappelle en effet que pour estimer le canal de transmission en OFDM par exemple, une technique classique consiste à insérer, dans le flux de porteuses utiles, des porteuses de référence, à des emplacements connus du récepteur. En réception, les valeurs prises par ces porteuses de référence, appelées pilotes, sont lues, et on en déduit aisément le gain complexe du canal à ces emplacements de référence. On dérive alors le gain complexe du canal sur l'ensemble des points du  
20 réseau temps-fréquence transmis, à partir de la valeur calculée du gain complexe aux emplacements de référence.

Un tel mécanisme à base de pilotes peut donc être utilisé, dans le cadre de l'invention, pour déterminer le rapport signal à bruit, et donc optimiser  $\alpha$ . Il est notamment utilisé par la norme DVB-T ("Digital Video Broadcasting (DVB) ; Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Terrestrial Television (DVB-T)", "Diffusion vidéo numérique (DVB) ; structure de trame, codage de canal et modulation pour la télévision numérique terrestre (DVB-T), ETS 300  
25 744, Mars 1997).

30 Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, un tel procédé de réception comprend en outre, pour au moins certains desdits niveaux de codage,

une étape supplémentaire de désentrelacement mise en œuvre entre lesdites étapes de démodulation et de décodage desdits bits reçus.

Un tel mode de réalisation permet notamment d'améliorer les performances du procédé de réception vis-à-vis des canaux de transmission affectés de Doppler.

L'invention concerne également un procédé de décodage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte, ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, ledit procédé comprenant au moins une itération de décodage comprenant des étapes successives de décodage de chacun desdits bits reçus, l'une au moins desdites étapes de décodage tenant compte du résultat d'au moins une éventuelle étape de décodage précédente.

Selon l'invention, on decode lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

L'invention concerne aussi un dispositif de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte, ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, ledit dispositif comprenant des moyens de décodage mettant en œuvre un décodage successif de chacun desdits bits reçus, le décodage de l'un au moins desdits bits reçus tenant compte du résultat d'au moins un éventuel décodage précédent.

Selon l'invention, lesdits moyens de décodage décodent lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

L'invention concerne encore un système de codage/décodage d'un signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage.

Un tel système comprend au moins un dispositif de codage permettant de  
 5 moduler ledit signal selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte, et au moins un dispositif de décodage comprenant des moyens de décodage mettant en œuvre un décodage successif de chacun desdits bits reçus, le décodage de l'un au moins desdits bits reçus tenant compte du résultat d'au moins  
 10 un éventuel décodage précédent,

lesdits moyens de décodage décodant lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

15 L'invention concerne enfin les applications du procédé de réception décrit précédemment à l'un au moins des domaines suivants :

- les transmissions radio numériques, notamment de type DRM ("Digital Radio Mondiale") ;
- les codes correcteurs d'erreurs ;
- 20 - le traitement numérique du signal ;
- les communications numériques ;
- l'enregistrement/restitution d'un signal numérique.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation  
 25 préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1, déjà décrite en relation avec l'art antérieur, présente un exemple de partition d'une constellation  $A_0$  en  $m$  niveaux, donnant  $2^m$  sous-ensembles, quand  $m=2$  ;
- 30 - la figure 2, déjà décrite en relation avec l'art antérieur, présente un

synoptique d'un codeur multi-niveaux ;

- la figure 3, également décrite en relation avec l'art antérieur, présente un schéma synoptique du décodeur par étapes mis en œuvre dans l'art antérieur, en association avec le codeur multi-niveaux de la figure 2, dans le cas d'un codage à trois niveaux ;
- la figure 4 présente une comparaison de la robustesse de différents niveaux de codage MLC en fonction d'un bruit blanc additif gaussien ;
- la figure 5 présente un exemple de récepteur selon l'invention, réalisant le décodage optimisé d'un symbole MAQ64 avec deux itérations et utilisation de l'information extrinsèque ;
- la figure 6 illustre les performances de décodage comparées des MLC selon le procédé de décodage sous-optimal de l'état de la technique et selon le procédé de décodage de l'invention.

Le principe général de l'invention repose sur la prise en compte de la robustesse au bruit des différents niveaux de codage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux MLC, pour déterminer l'ordre de décodage des bits reçus.

On présente, en relation avec la figure 4, le concept de robustesse d'un niveau de codage, dans le cadre d'une technique de codage multi-niveaux MLC.

La robustesse d'un niveau de codage peut être illustrée par la courbe du taux d'erreurs binaires de ce niveau, en fonction du rapport signal à bruit (S/N) : dans tout le document, on considèrera qu'un niveau de codage est d'autant plus robuste que le taux d'erreur binaire qui lui est associé est faible.

En décodant chaque niveau de codage indépendamment, c'est-à-dire sans effectuer un quelconque rebouclage d'un niveau sur l'autre (en d'autres termes, le résultat du décodage d'un niveau n'est pas utilisé lors du décodage du niveau suivant), il est possible de déterminer le niveau de robustesse de chaque niveau vis-à-vis du bruit. Plus particulièrement, la figure 4 illustre la robustesse de chaque niveau de codage MLC vis-à-vis d'un bruit blanc additif gaussien.

Ainsi, le consortium de normalisation DRM (Digital Radio Mondiale, tel que présenté dans le document ETSI ES 201 980 V1.2.1 (2002-07)) a retenu le codage multi-niveaux MLC pour la diffusion d'un signal numérique dans les bandes AM (en anglais "Amplitude Modulated" pour "modulées en amplitude"), dont les fréquences sont inférieures à 30MHz. L'un des modes retenus par DRM comprend une modulation 64QAM (en anglais "Quadrature Amplitude Modulation" pour "modulation d'amplitude en quadrature") avec un rendement de codage global de  $R=0,6$  avec  $R_{MSB}=0,8$ ,  $R_{ISB}=0,67$  et  $R_{LSB}=0,33$ , où MSB représente l'ensemble des bits les plus significatifs ("Most Significant Bits" en anglais), LSB représente l'ensemble des bits les moins significatifs (en anglais "Least Significant Bits") et ISB représente l'ensemble des bits intermédiaires ("Intermediate Significant Bits").

Ainsi, un point de la constellation 64QAM correspond à un ensemble de trois bits, à savoir un bit affecté au niveau MSB, un bit du niveau ISB, et un bit du niveau LSB.

En décodant les trois niveaux de la modulation QAM, MSB, ISB et LSB, on remarque que le niveau le plus robuste est celui qui correspond aux bits MSB (courbe référencée 41), puis aux bits LSB (courbe référencée 42) et enfin au niveau intermédiaire ISB (courbe référencée 43), ainsi qu'illustré par la figure 4. En effet, la courbe de TEB 41 associée au niveau MSB est celle qui décroît le plus rapidement en fonction du rapport signal à bruit (S/N), et la courbe de TEB 43 associée au niveau ISB est celle qui décroît le plus lentement en fonction du rapport signal à bruit (S/N).

Cependant, on peut analyser à nouveau les performances des niveaux ISB et LSB, en effectuant un re-bouclage du niveau le plus robuste (MSB), c'est-à-dire en tenant compte du résultat du décodage du niveau MSB lors du décodage des niveaux ISB et LSB.

On constate alors que le niveau ISB devient le deuxième niveau le plus robuste, devant le niveau LSB : ainsi, l'ordre décroissant de robustesse des niveaux de codage est MSB-ISB-LSB.



Selon la technique proposée par l'invention, l'ordre du décodage des MLC optimal est donc l'ordre décroissant de robustesse MSB-ISB-LSB.

On présente désormais, en relation avec la figure 5, un exemple de réalisation d'un récepteur selon l'invention.

5 Le fonctionnement d'un tel récepteur repose sur quatre principes principaux :

- le premier principe repose sur la démodulation, puis le décodage, tout d'abord du niveau le plus robuste, le résultat d'un tel décodage permettant d'améliorer la démodulation, et donc le décodage, des niveaux moins robustes. Cette opération est répétée jusqu'au niveau de codage le moins robuste ;
- 10 - le second principe mis en œuvre par un récepteur selon l'invention est celui d'un processus itératif. En effet, après démodulation et décodage de tous les niveaux, l'opération peut être répétée, de façon à améliorer la démodulation du niveau le plus robuste à l'aide du résultat du décodage des niveaux inférieurs ;
- 15 - le troisième principe de fonctionnement repose sur la mise en œuvre d'un test de la pertinence de la correction du signal démodulé en fonction de l'amplitude du signal correctif par rapport au signal à démoduler ;
- 20 - enfin, un tel récepteur utilise une information extrinsèque, entre chaque itération, dans le but d'améliorer la démodulation et donc le décodage du signal reçu.

Ces quatre principes sont présentés plus en détail en relation avec la figure 5, qui présente un mode de réalisation particulier, dans le cadre d'une modulation  
25 MAQ64 (Modulation d'Amplitude en Quadrature). Il sera bien sûr aisé, pour l'Homme du Métier, de généraliser cette description à tout type de modulation multi-niveaux.

Dans le mode de réalisation particulier de la figure 5, le niveau le plus robuste correspond au niveau de codage des bits de poids fort (MSB pour "Most  
30 Significant Bits") et le niveau le moins robuste correspond aux bits de poids faible

(LSB pour "Least Significant Bits"). Comme expliqué précédemment en relation avec la figure 4, la robustesse d'un niveau de codage vis-à-vis du bruit est inversement proportionnelle au taux d'erreur de ce niveau. En outre, le taux d'erreur est fonction du rendement du codage, de la puissance associée à chaque bit (encore appelée niveau du bit) et du rapport signal à bruit (en effet, les erreurs observées sur le signal dépendent bien sûr du bruit qui l'affecte).

On comprendra donc aisément que le niveau le plus robuste n'est pas nécessairement le niveau des bits les plus significatifs. A titre d'illustration, on s'attache cependant dans la suite de la description à présenter un mode de réalisation de l'invention dans ce cas particulier.

Le récepteur de la figure 5 comprend deux étages référencés 51 et 52, correspondant à deux itérations de décodage successives. En effet, les inventeurs ont constaté que l'amélioration des performances du décodage résultant de la mise en œuvre d'une troisième itération de décodage était faible et, dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, seules deux itérations du processus de décodage sont mises en œuvre. On obtient ainsi un bon compromis performance/complexité.

On décrit tout d'abord le premier étage de décodage référencé 51. Cet étage est alimenté par le symbole MAQ64 reçu, encore appelé  $S_r$ , qui est distribué vers les trois démodulateurs référencés 511 à 513, assurant respectivement les démodulations MSB, ISB et LSB. Le symbole reçu  $S_r$  est formé de trois bits  $X_{RMSB}$ ,  $X_{RISB}$ ,  $X_{RLSB}$  affectés respectivement aux niveaux MSB, ISB et LSB, ce qui peut être exprimé sous la forme :  $S_r = X_{RMSB} + X_{RISB} + X_{RLSB}$ .

La première étape mise en œuvre à la réception du symbole  $S_r$  consiste à démoduler les bits affectés au niveau le plus robuste au bruit, c'est-à-dire en l'espèce les bits de poids fort (MSB). On obtient, en sortie du démodulateur 511, les bits démodulés  $\tilde{b}_3^i$ ,  $i=1, \dots, n$ , qui alimentent le décodeur référencé 514. Après décodage par le décodeur 514, on obtient les bits décodés  $\hat{b}_3^i$ ,  $i=1, \dots, n$ .

La deuxième étape consiste à coder les bits décodés  $\hat{b}_3^i$ ,  $i=1, \dots, n$  avec le codeur utilisé à l'émission, appelé "codeur 3", référencé 517. Les bits ainsi codés

alimentent le démodulateur ISB référencé 512, qui en tient compte pour démoduler les bits de poids intermédiaires (ISB)  $\tilde{b}_2^i$ ,  $i=1, \dots, n$ . Les bits de poids intermédiaires démodulés sont fournis en entrée du décodeur référencé 515, qui délivre, après décodage, les bits de poids intermédiaire décodés  $\hat{b}_2^i$ ,  $i=1, \dots, n$ . On

5 notera que le niveau de codage ISB est ici le niveau de robustesse au bruit intermédiaire, et qu'il est donc démodulé et décodé directement après le niveau MSB.

Les bits de poids intermédiaire décodés  $\hat{b}_2^i$ ,  $i=1, \dots, n$  sont en outre fournis en entrée du codeur référencé 518, qui est identique au codeur utilisé à l'émission

10 pour le niveau ISB.

En utilisant les bits recodés des niveaux de robustesse supérieurs (MSB et ISB), on peut ensuite démoduler les bits du niveau le moins robuste, qui, dans le mode de réalisation particulier décrit en relation avec la figure 5, correspond au niveau des bits de poids faibles (LSB).

15 Pour ce faire, le dispositif de démodulation LSB référencé 513 est alimenté par les bits recodés issus des codeurs référencés 517 et 518 des niveaux les plus robustes MSB et ISB, et délivre les bits démodulés de poids faible  $\tilde{b}_1^i$ ,  $i=1, \dots, n$ . Après décodage par le décodeur référencé 516, on obtient les bits de poids faible décodés  $\hat{b}_1^i$ ,  $i=1, \dots, n$ .

20 Les bits de poids faible décodés  $\hat{b}_1^i$  peuvent en outre alimenter le codeur référencé 519, qui est identique au codeur utilisé à l'émission pour le niveau LSB.

Après décodage des 3 niveaux de la constellation MAQ, il est possible de déterminer (520) une estimation du symbole émis, à partir des bits recodés délivrés par les trois codeurs référencés 517 à 519.

25 Ainsi, dans le mode de réalisation particulier décrit en relation avec la figure 5, le symbole émis  $S_e$  est de la forme  $S_e = 4b_{\text{MSB}} + 2b_{\text{ISB}} + b_{\text{LSB}}$ , où  $b_{\text{MSB}}$ ,  $b_{\text{ISB}}$  et  $b_{\text{LSB}}$  correspondent respectivement aux bits des niveaux MSB, ISB et LSB.

A partir du symbole émis estimé, on calcule la distance euclidienne entre le symbole émis  $S_e$  et le symbole reçu  $S_r$ , en pondérant cette distance par un

30 coefficient  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ). On détermine ainsi une information extrinsèque  $\alpha(S_r - S_e)$

521, qui peut être utilisée dans le deuxième étage 52 du récepteur, pour améliorer le décodage des itérations suivantes.

Le deuxième étage de décodage 52 fonctionne de manière similaire au premier étage référencé 51. Il comprend notamment trois dispositifs de  
5 démodulation référencés 521 à 523, et trois décodeurs référencés 524 à 526 associés respectivement aux trois niveaux de codage MSB, ISB et LSB.

La première étape mise en œuvre au sein de cet étage 52 est la démodulation du niveau le plus robuste MSB par le bloc référencé 521. Un tel bloc 521 est alimenté, d'une part, par les bits recodés des niveaux moins robustes  
10 ISB et LSB, issus des codeurs référencés 518 et 519 du premier étage de décodage 51, et d'autre part, par le symbole reçu  $S_r$  auquel a été soustraite l'information extrinsèque  $\alpha(S_r - S_e)$ , soit  $S_r(1 - \alpha) + \alpha S_e$ .

Le coefficient  $\alpha$  est préférentiellement choisi proche de 0,25. Dans une variante de réalisation, la valeur du coefficient  $\alpha$  est optimisée en fonction du  
15 rapport signal à bruit. De cette façon, en fonction du rapport signal à bruit, on peut choisir d'accorder une plus ou moins grande confiance à l'estimation 520 du symbole émis, pour en tenir plus ou moins compte lors de la deuxième itération de décodage, et notamment lors du décodage du niveau le plus robuste MSB.

Ainsi, si le rapport signal à bruit est très bon, on choisira  $\alpha$  proche de 1.  
20 Dans le cas contraire,  $\alpha$  sera choisi proche de 0.

Une telle optimisation de  $\alpha$  peut notamment être précédée d'une étape de détermination du rapport signal à bruit, au moyen de pilotes, insérés dans le signal émis. Selon une technique connue, les pilotes constituent des informations de  
25 référence, dont la valeur est connue a priori du récepteur. En comparant cette valeur prédéterminée des pilotes à la valeur des pilotes reçus, le récepteur peut, par division, estimer la fonction de transfert du canal de transmission, et donc le rapport signal à bruit affectant le signal émis. Cette technique permet en outre d'évaluer la robustesse des différents niveaux de codage.

Après démodulation par le bloc référencé 521, on obtient de nouveaux bits  
30 démodulés  $\tilde{b}_i'$ ,  $i=1, \dots, n$ , améliorés par rapport aux bits correspondants issus du

bloc de démodulation référencé 511, du fait de la prise en compte conjointe de l'information extrinsèque et du résultat du décodage des niveaux moins robustes LSB et ISB du premier étage de décodage 51.

Ces bits  $\tilde{b}_3^i$ ,  $i=1, \dots, n$  démodulés alimentent le décodeur référencé 524, qui  
 5 délivre des bits décodés améliorés  $\hat{b}_3^i$ ,  $i=1, \dots, n$ . Comme précédemment, ces bits sont recodés par le codeur, identique à celui de l'émission, référencé 527, puis alimentent le dispositif de démodulation du niveau ISB référencé 522. Ce dispositif de démodulation 522 est en outre alimenté en entrée par la différence entre le symbole reçu et l'information extrinsèque, sous la forme  $S_r (1-\alpha) + \alpha S_e$ , et  
 10 par les bits recodés du niveau le moins robuste LSB, issus du codeur référencé 519.

Le démodulateur ISB 522 délivre des bits de poids intermédiaire démodulés  $\tilde{b}_2^i$ ,  $i=1, \dots, n$ , qui alimentent le décodeur référencé 525 délivrant des bits décodés améliorés  $\hat{b}_2^i$ ,  $i=1, \dots, n$ .

15 A nouveau, ces bits  $\hat{b}_2^i$ ,  $i=1, \dots, n$  sont recodés au moyen du codeur, identique à celui utilisé à l'émission, référencé 528, puis sont fournis en entrée du bloc de démodulation du niveau le moins robuste LSB référencé 523. Ce bloc de démodulation référencé 523 est en outre alimenté par la différence entre le symbole reçu et l'information extrinsèque, sous la forme  $S_r (1-\alpha) + \alpha S_e$ . Il délivre  
 20 donc des bits démodulés  $\tilde{b}_1^i$ ,  $i=1, \dots, n$  améliorés par rapport aux bits correspondants issus du premier étage de décodage référencé 513, qui alimentent le décodeur référencé 526, ce dernier délivrant des bits décodés améliorés  $\hat{b}_1^i$ ,  $i=1, \dots, n$ .

25 La mise en œuvre de ces deux itérations de décodage successives, conjuguées à l'utilisation d'une information extrinsèque, permet d'obtenir des résultats de performance accrues par rapport aux techniques de l'art antérieur, et notamment par rapport au procédé de décodage par étapes sous-optimal classiquement mis en œuvre pour le décodage de signaux modulés selon une technique de codage multi-niveaux.

Ces performances sont illustrées par les courbes de la figure 6, présentant respectivement les taux d'erreurs binaires obtenus, en fonction du rapport signal à bruit  $S/N$ , pour le procédé de décodage de l'invention d'une part, et pour le procédé de décodage sous-optimal de l'état de la technique d'autre part.

5        Ainsi, on constate que la courbe référencée 61 du taux d'erreurs binaires obtenu selon l'invention décroît beaucoup plus rapidement, en fonction du rapport  $S/N$ , que la courbe de TEB référencée 62 obtenue selon le procédé de décodage par étapes de l'art antérieur.

10       Dans le cadre du consortium DRM présenté précédemment, il a été établi qu'un taux d'erreurs binaires TEB de  $10^{-4}$  constituait le seuil de fonctionnement du système. On notera, en regard de la figure 6, qu'un gain d'environ 2 dB est obtenu, pour ce seuil de  $10^{-4}$ , entre la technique de décodage de l'art antérieur et le procédé de décodage de l'invention.

15       On pourrait encore améliorer les performances du système de l'invention vis-à-vis des canaux de transmission affectés de Doppler notamment, en ajoutant un entrelaceur, sur chaque niveau de codage, à l'émission. Le récepteur de la figure 5 comprendrait alors des moyens de désentrelacement, qui seraient mis en oeuvre, pour chaque niveau, après la démodulation et avant le décodage.

20       On notera que tout type de code peut-être utilisé dans le cadre de l'invention, et notamment les turbo-codes. Notamment, on peut envisager de mettre en oeuvre un turbo-code pour chacun des niveaux de codage.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte,  
5 ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage,  
ledit procédé comprenant au moins une itération de décodage comprenant des étapes successives de décodage de chacun desdits bits reçus, l'une au moins desdites étapes de décodage tenant compte du résultat d'au moins une  
10 éventuelle étape de décodage précédente,  
caractérisé en ce qu'on decode lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.
- 15 2. Procédé de réception selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit ordre prédéterminé correspond à l'ordre décroissant de la robustesse des niveaux de codage auxquels sont affectés lesdits bits reçus.
3. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que chacune desdites étapes successives de décodage tient  
20 compte du résultat de la ou lesdites étape(s) de décodage précédente(s), de façon à améliorer le résultat desdites étapes de décodage desdits bits affectés aux niveaux moins robustes.
4. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdits bits affectés audit niveau le plus robuste sont les  
25 bits les plus significatifs dudit symbole correspondant.
5. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que au sein d'une desdites itérations de décodage, chacune desdites étapes successives de décodage desdits bits reçus est précédée d'une étape de démodulation correspondante.

6. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux itérations de décodage successives,  
une étape de décodage des bits d'un niveau donné tenant compte, lors de la  $n^{\text{ième}}$  itération, où  $n \geq 2$ , du résultat d'au moins certaines desdites étapes de décodage desdits bits reçus affectés aux niveaux de codage moins robustes que ledit niveau donné, et mises en œuvre lors d'au moins une desdites itérations précédentes.
7. Procédé de réception selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend deux itérations de décodage successives.
8. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 6 et 7, caractérisé en ce qu'à l'issue d'au moins certaines desdites itérations, il met en œuvre une étape d'estimation d'un symbole émis, et une étape de calcul d'une information extrinsèque tenant compte dudit symbole émis estimé, ladite information extrinsèque permettant d'améliorer le résultat desdites étapes de décodage de la ou lesdites itérations suivantes.
9. Procédé de réception selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite information extrinsèque est de la forme :  $\alpha(S_r - S_e)$ , où  $\alpha \in [0, 1]$ ,  $S_r$  est ledit symbole reçu et  $S_e$  est ledit symbole émis estimé.
10. Procédé de réception selon la revendication 9, caractérisé en ce que  $\alpha$  est sensiblement égal à 0,25.
11. Procédé de réception selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend une étape d'optimisation de la valeur de  $\alpha$  en fonction du rapport signal à bruit.
12. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que il comprend en outre une étape de détermination d'un rapport signal à bruit à partir d'au moins une information de référence émise, appelée pilote, dont la valeur est connue a priori en réception.
13. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 5 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, pour au moins certains desdits



niveaux de codage, une étape supplémentaire de désentrelacement mise en œuvre entre lesdites étapes de démodulation et de décodage desdits bits reçus.

- 5 14. Procédé de décodage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte, ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, ledit procédé comprenant au moins une itération de décodage comprenant des étapes successives de décodage de chacun desdits bits reçus, l'une au moins
- 10 desdites étapes de décodage tenant compte du résultat d'au moins une éventuelle étape de décodage précédente, caractérisé en ce qu'on decode lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus
- 15 robuste, étant décodé(s) en premier.

15. Dispositif de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte, ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins
- 20 un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, ledit dispositif comprenant des moyens de décodage mettant en œuvre un décodage successif de chacun desdits bits reçus, le décodage de l'un au moins desdits bits reçus tenant compte du résultat d'au moins un éventuel décodage précédent,
- 25 caractérisé en ce que lesdits moyens de décodage décodent lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

16. Système de codage/décodage d'un signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage,

5 caractérisé en ce qu'il comprend au moins un dispositif de codage permettant de moduler ledit signal selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte,

10 et au moins un dispositif de décodage comprenant des moyens de décodage mettant en œuvre un décodage successif de chacun desdits bits reçus, le décodage de l'un au moins desdits bits reçus tenant compte du résultat d'au moins un éventuel décodage précédent,

lesdits moyens de décodage décodant lesdits bits selon un ordre prédéterminé, tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

17. Application du procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 13 à l'un au moins des domaines suivants :

- les transmissions radio numériques, notamment de type DRM ("Digital Radio Mondiale") ;
- 20 - les codes correcteurs d'erreurs ;
- le traitement numérique du signal ;
- les communications numériques ;
- l'enregistrement/restitution d'un signal numérique.

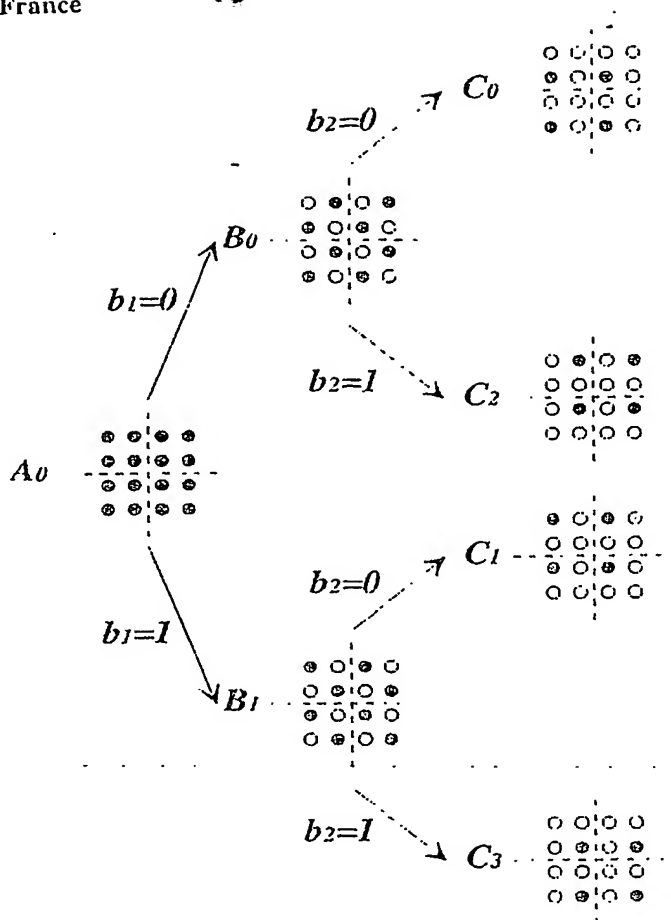


FIGURE 1

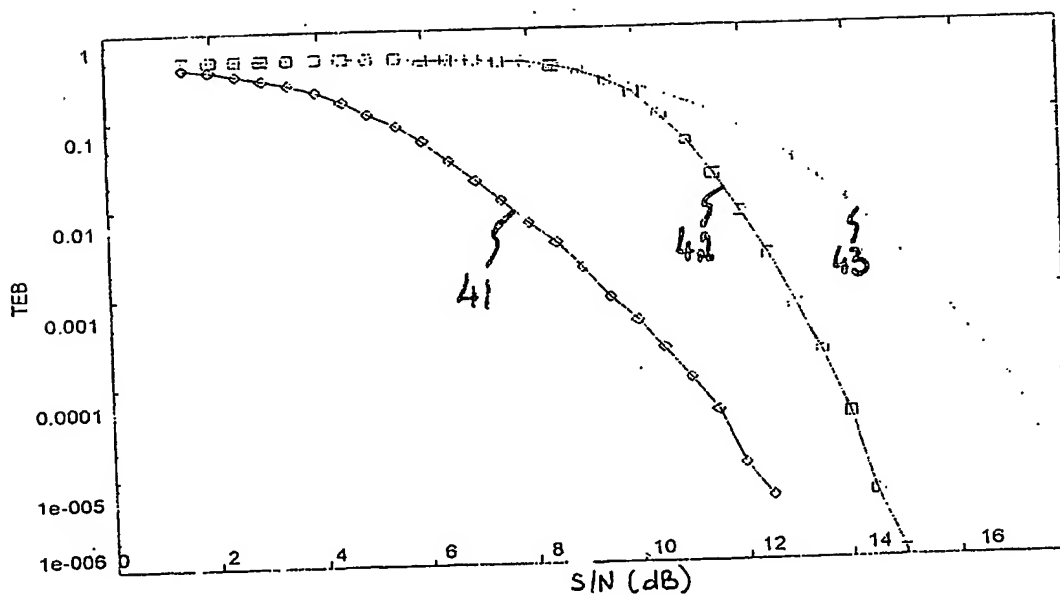


FIGURE 4

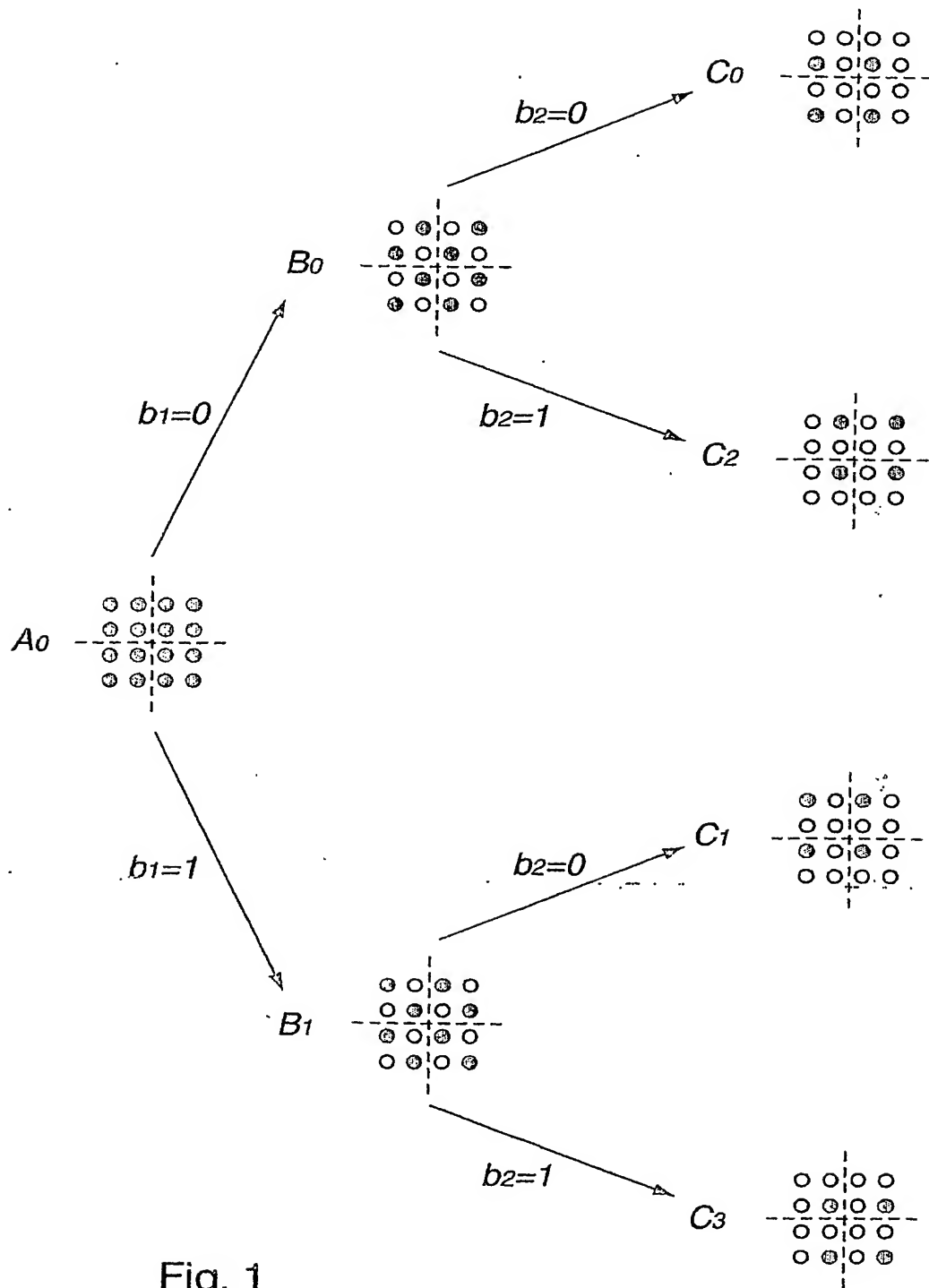


Fig. 1

213

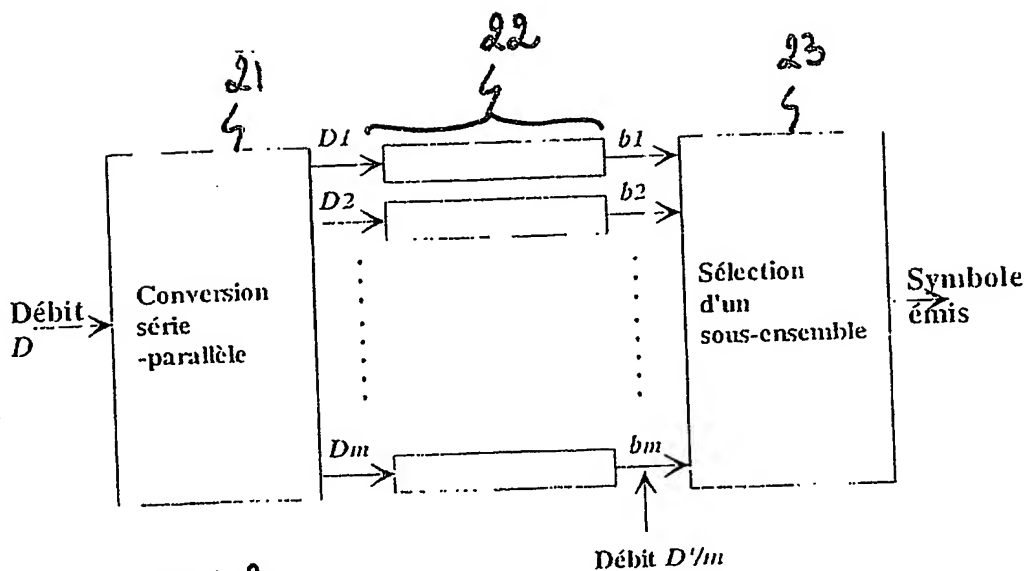


FIGURE 2

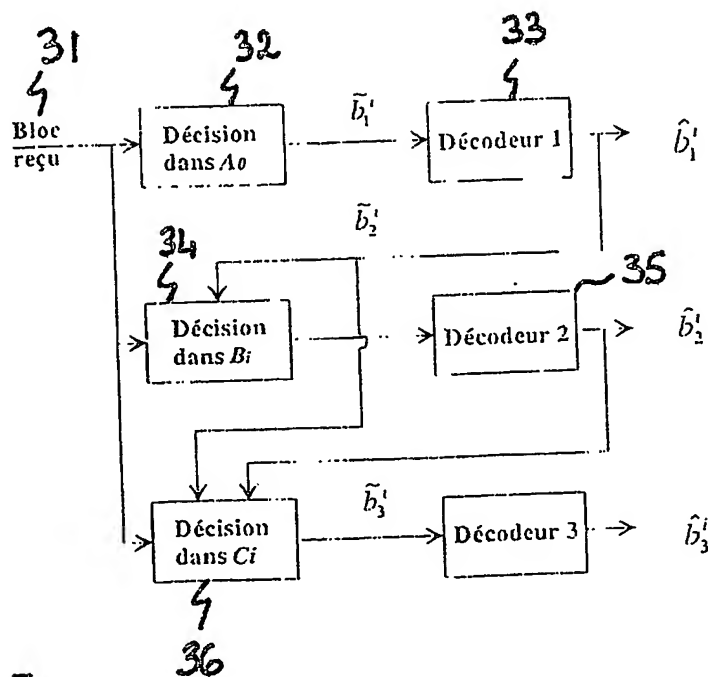


FIGURE 3

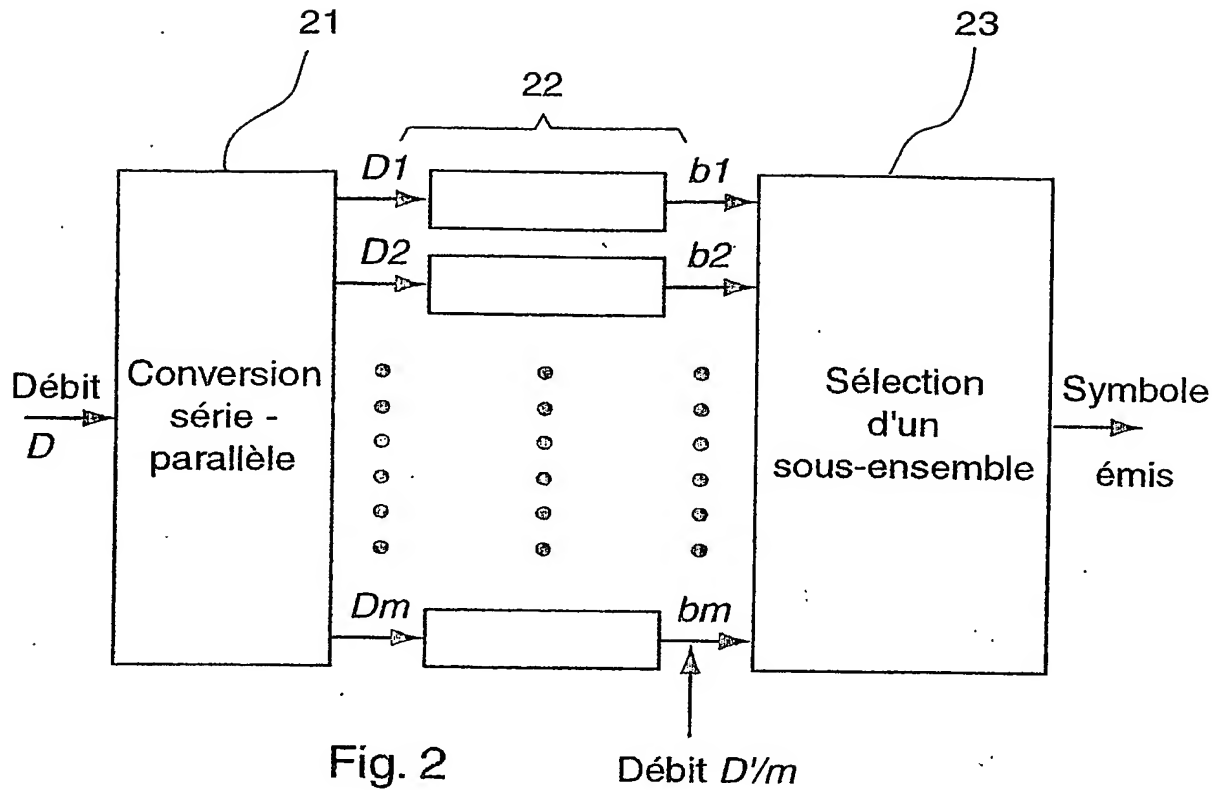


Fig. 2

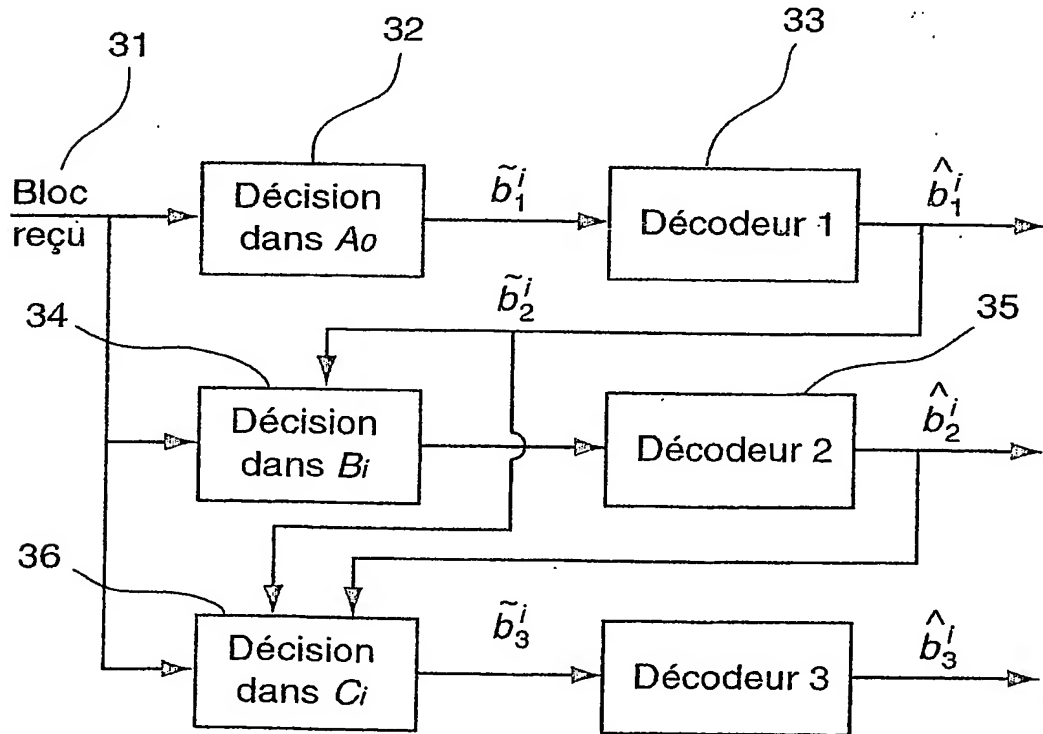


Fig. 3

313

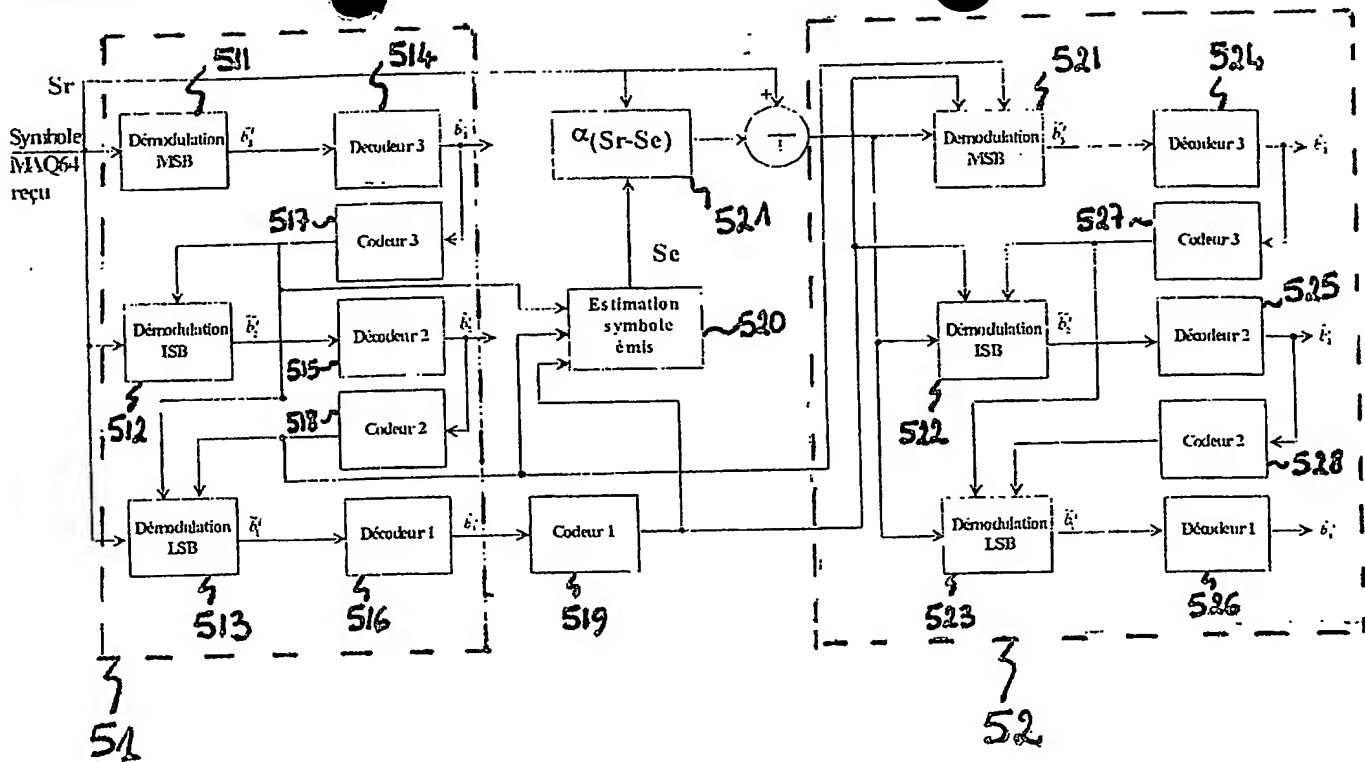


FIGURE 5

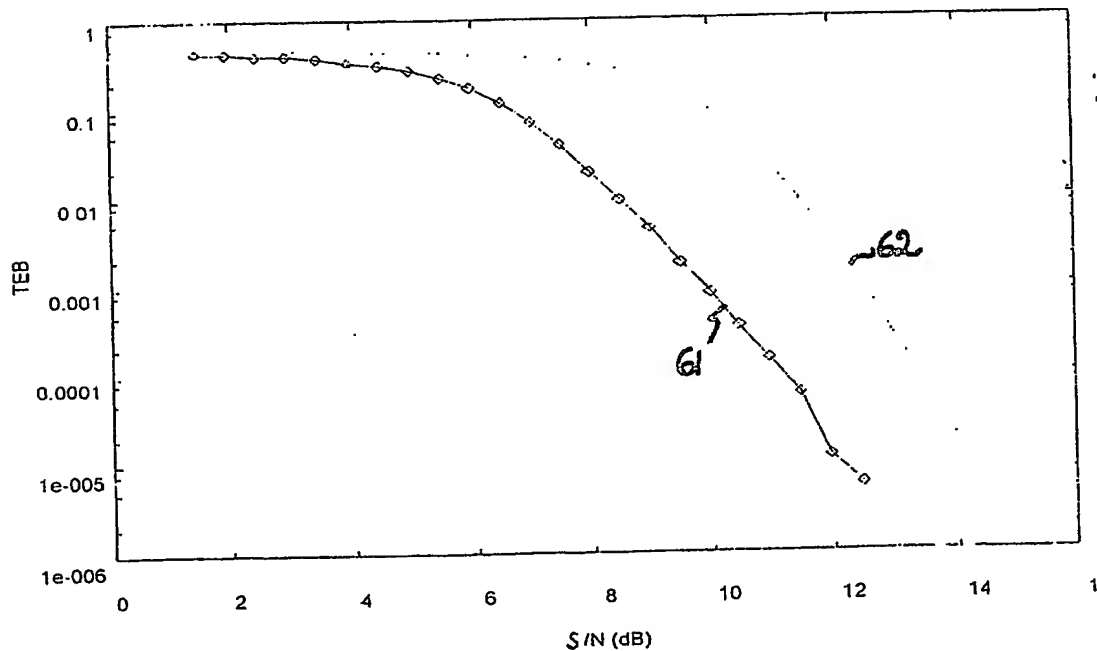
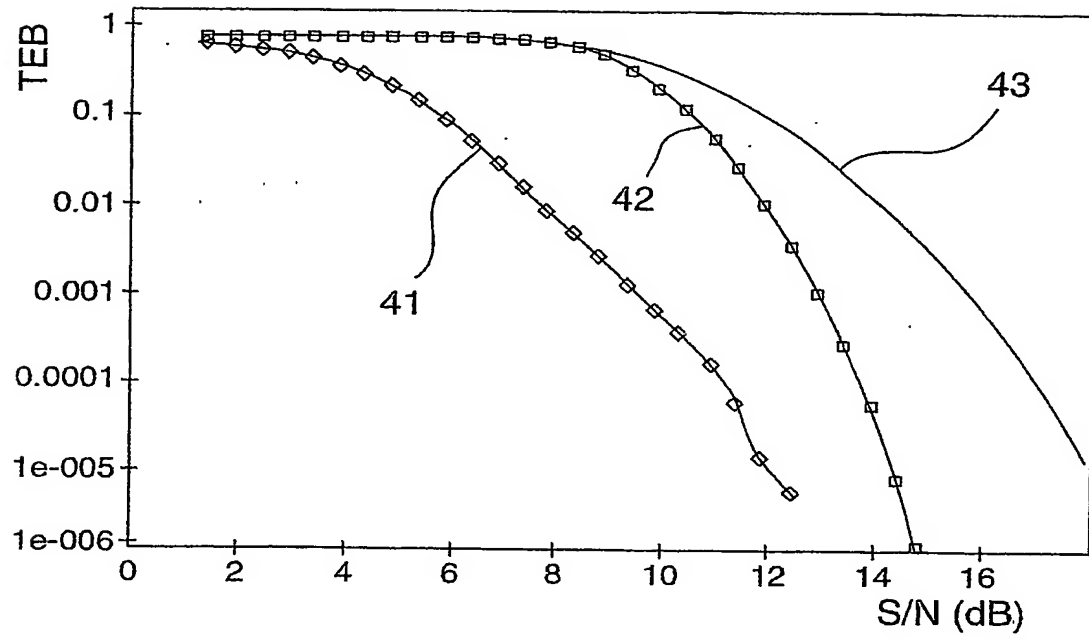
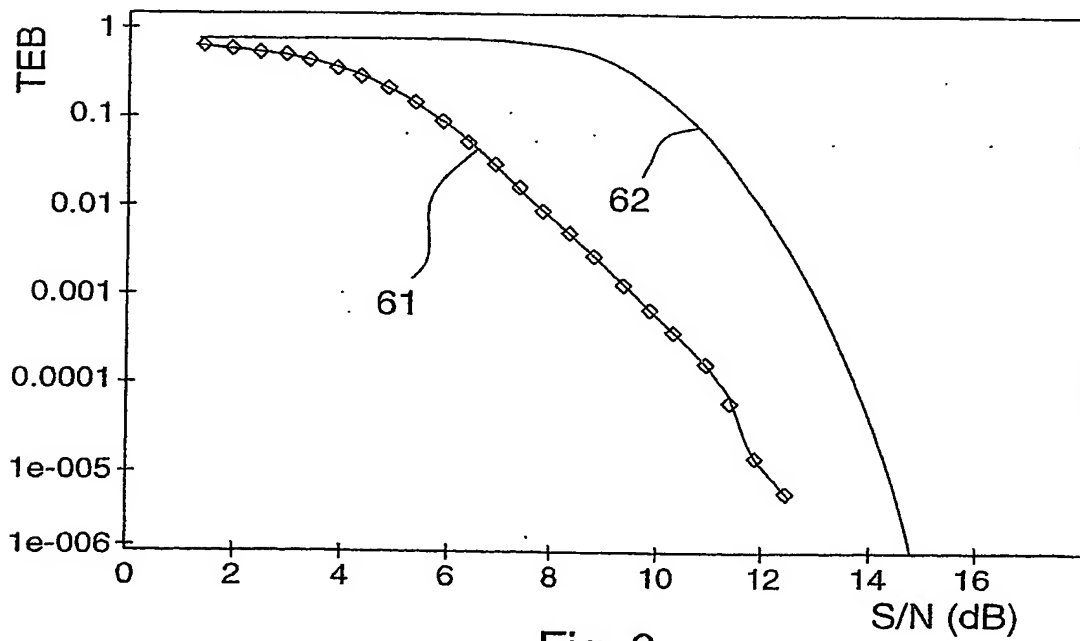


FIGURE 6

Fig. 4Fig. 6



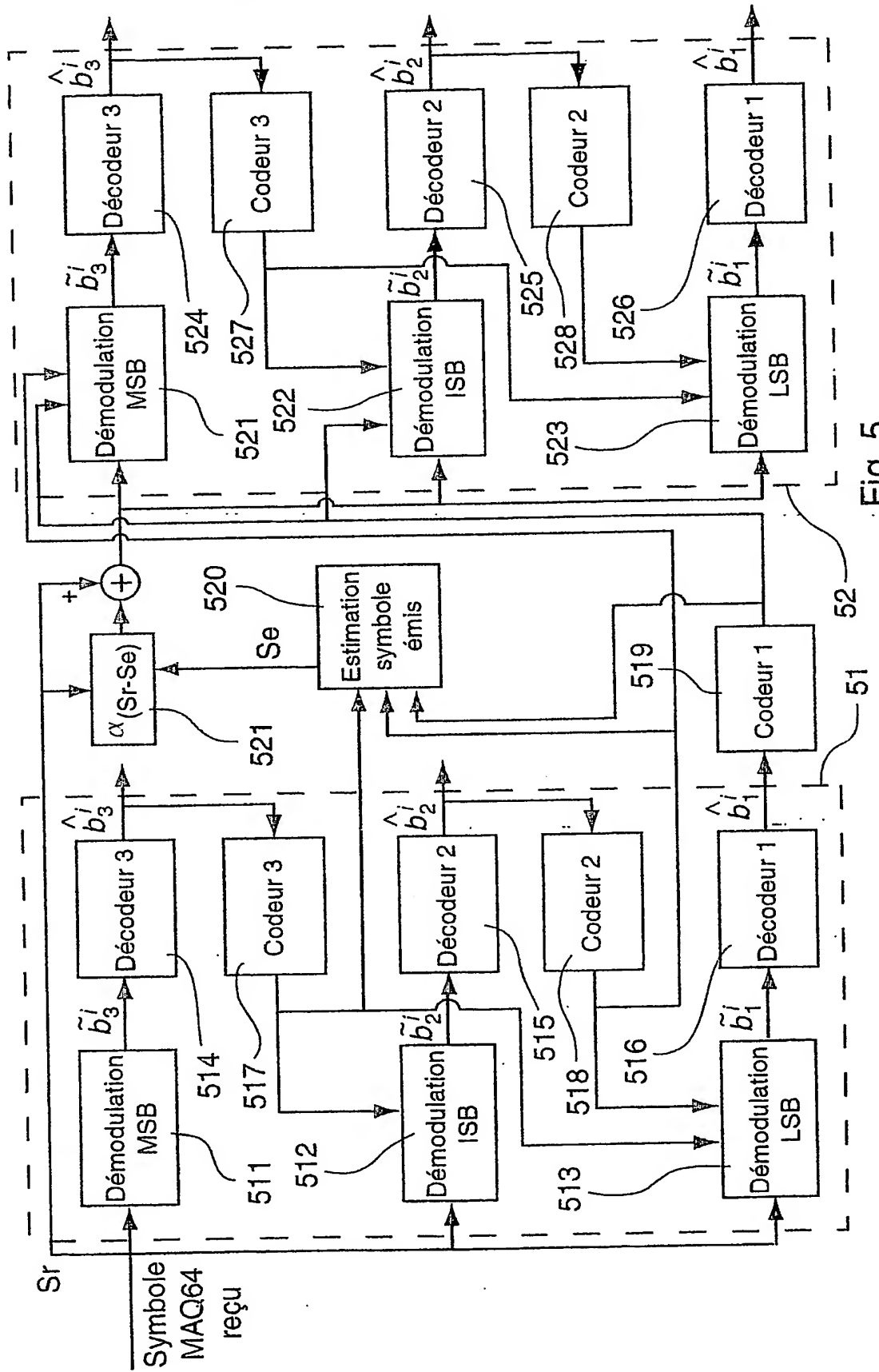


Fig. 5



**BREVET D'INVENTION**  
**CERTIFICAT D'UTILITÉ**  
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

  
N° 11235\*02

**DÉPARTEMENT DES BREVETS**

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)** Page N° 1. / 1..  
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

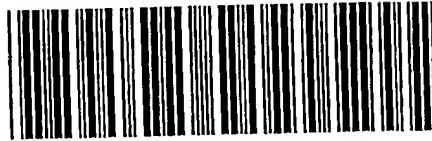
DB 113 W / 260899

<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif)		R8200FR	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		02 12158	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)			
Procédé de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, procédé de décodage, dispositif de réception, système de codage-décodage et applications correspondantes			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b> TELEDIFFUSION DE FRANCE 10, rue d'Oradour-sur-Glane 75015 PARIS CEDEX 15			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
<b>Nom</b>		JAIJAN	
<b>Prénoms</b>		Bruno	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	15, rue Laënnec	
	<b>Code postal et ville</b>	35530	SERVON SUR VILAINE
<b>Société d'appartenance</b> (facultatif)			
<b>Nom</b>		LOUIN	
<b>Prénoms</b>		Pierriek	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	39, square Fernand Labori	
	<b>Code postal et ville</b>	35700	RENNES
<b>Société d'appartenance</b> (facultatif)			
<b>Nom</b>			
<b>Prénoms</b>			
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>		
	<b>Code postal et ville</b>		
<b>Société d'appartenance</b> (facultatif)			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) le 1er octobre 2002 P. VIDON Mandataire (CPI 92-1250) P. GUENE (CPI n° 96-0503)			

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

PCT Application

**FR0302878**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**